

高炉除尘风机变频电气控制系统稳定性提升研究

彭榕明

广西柳钢工程技术有限公司 广西壮族自治区 柳州 545000

【摘要】：高炉出铁场除尘风机处在粉尘浓度高、管网阻力变化快、炉前阀位频繁切换的工况，单一负压点控制容易产生转速滞后、主管负压摆动和保护误动。本文分析由变频器、异步电机、负压变送器、阀位信号和 PLC 组成的控制系统概况，梳理风量压力联动、变频传动建模和调速参数整定，讨论转速响应、负压波动、电耗负荷和抗扰裕量的稳定表现。改进重点在于把阀位、负压、电流和变频器状态接入同一控制链，使调速指令跟随出铁工况变化，并避开电机过载、管网喘振和传感干扰形成的失稳区间。

【关键词】：高炉除尘风机；变频控制；电气控制系统；运行稳定性

DOI:10.12417/2811-0528.26.20.037

引言

高炉除尘风机承担炉前烟尘捕集、管网负压维持和除尘器入口风量保障任务，运行状态受出铁口开闭、吸尘罩阀位、布袋阻力和主管漏风共同影响。工频运行依靠挡板节流调节风量，电能损耗高，负压响应慢；变频调速可以改变风机转速和压力输出，但控制参数、检测信号和保护逻辑缺少工况约束时，短时扰动会被放大为频率振荡。稳定性分析要把电气传动、现场检测、管网阻力放在同一场景中判断。

1 高炉除尘风机控制系统概况

高炉除尘风机控制系统由变频器、异步电机、风机本体、主管负压变送器、炉前阀位信号、PLC 控制柜和上位监控画面组成，控制对象是风量、负压、电流、温升和除尘器入口阻力共同形成的运行状态。出铁初期烟气流增长较快，吸尘罩开度、铁沟覆盖状态和炉前清扫动作改变局部阻力；布袋除尘器清灰周期又会让主管压差出现阶跃变化，变频器若只按负压偏差加减频率，容易连续追调^[1]。系统把主管负压设为主控量，把电机电流、变频器温度、风机轴承振动和阀位组合设为约束量，再用工况识别结果限制频率变化斜率。

2 变频电气控制稳定性提升方法

(1) 出铁工况风量压力联动控制逻辑：出铁工况下的风量压力联动控制先识别炉前吸尘点开启状态，再决定主管负压设定值和变频器频率变化方向。吸尘罩阀位打开、铁沟烟尘增多且主管负压下降时，PLC 把这一状态判为抽风负荷上升，频率指令按限定斜率上调；阀位关闭或清灰脉冲结束后，控制器先观察负压回升速度，再逐步降低频率，避免负压尚未稳定就快速降速^[2]。阀位信号放在负压偏差之前，能够区分真实抽风负荷和传感器短时抖动，减少变频器在高频区反复加减速造成的电流波动。图 1 展示联动调速的检测、判断和输出关系。

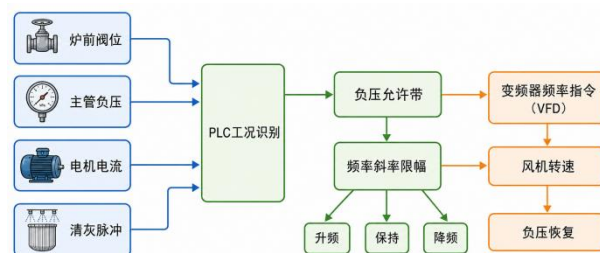


图 1 高炉除尘风机变频电气控制拓扑

图 1 中，炉前阀位、主管负压、电机电流和清灰脉冲四类检测量先进入 PLC 工况识别，识别结果再经过负压允许带和频率斜率限幅判断后输出到变频器频率指令。升频、保持和降频三个分支位于限幅节点下方，说明调速动作要先受负压区间和频率变化速率约束，再传递到风机转速和负压恢复。

(2) 除尘风机电机变频传动模型：除尘风机电机变频传动模型同时表达电机转矩、风机负载和管网阻力的耦合关系。低负荷待机频率为 32Hz、电机电流为 210A、运行功率为 165kW、响应时间为 28s；出铁高峰频率为 48Hz、电机电流为 365A、运行功率为 430kW、响应时间为 18s，两组工况差值说明调速模型必须同时约束电流爬升和负压恢复速度^[3]。离心风机流量随转速近似同步变化，压力随转速平方变化，轴功率随转速立方变化；高炉除尘场景中，布袋阻力、主管漏风和阀门开度会让这一关系偏离理想相似律。模型以变频频率作为输入，以主管负压、运行功率和响应时间作为输出，并把电机电流上限、最低冷却转速和风机轴承振动限值列入保护边界。表 1 列出高炉除尘风机的运行工况参数。

表 1 高炉除尘风机变频控制运行工况参数

运行工况	目标风量(m³/h)	主管负压(Pa)	变频频率(Hz)	电机电流(A)	运行功率(kW)	响应时间(s)

低负荷待机	180000	-1450	32	210	165	28
开炉送风	240000	-1850	38	255	228	24
出铁初期	300000	-2250	43	305	315	20
出铁高峰	360000	-2680	48	365	430	18
炉前清扫	280000	-2100	41	290	288	22
故障切换	220000	-1750	36	245	205	30

(注:续表1)

表1中,目标风量从180000m³/h增至360000m³/h,主管负压由-1450Pa加深至-2680Pa,变频频率由32Hz升至48Hz;运行功率高峰为430kW,响应时间压缩到18s,说明调速策略要同时约束负压恢复速度、电机电流和功率爬升。

(3) 工况切换下调速参数整定约束:工况切换下的调速参数整定围绕加速斜率、减速斜率、PID比例增益、积分时间和限幅条件展开。出铁高峰要求较快恢复主管负压,但加速斜率过大时,风机惯性和电机励磁电流会引起直流母线波动;炉前清扫结束后降低频率,减速过快又可能使管网负压跨设定下限。整定时可把出铁开始、正常抽风、清灰脉冲和低负荷待机分成参数组,比例增益负责初始响应,积分环节在负压进入允许带后释放,死区宽度按压力变送器噪声幅值设定。

3 稳定运行结果与控制响应讨论

(1) 变频调速参数整定后的转速响应特征:变频调速参数完成整定后,转速响应应表现为起升平顺、稳态振荡收敛和保护动作次数减少。出铁初期的频率上调不追求瞬时到达上限,而是按照负压下降幅度和阀门开启比例分段加速;当主管负压回到设定带内,控制器缩小频率修正步长,使风机转速在捕集负荷附近稳定^[4]。高炉现场清灰脉冲扰动持续时间短、压差恢复快,系统识别这一特征后,可以避免把布袋清灰造成的瞬态压差误判为炉前烟气流长期增加。

(2) 除尘主管负压波动幅值变化判别:除尘主管负压波动幅值是判断稳定改进是否有效的核心响应量。单点负压直接调速时,长距离管道、支管阀门和除尘器阻力会使负压曲线滞后,频率指令已经提高而远端吸尘罩仍处于低负压状态;联动控制引入阀位和工况识别后,负压判别从单点偏差变为多信号一致性判断^[5]。负压下降同时伴随阀位开大和电流上升,说明

抽风负荷真实增加;负压下降但阀位未变、电流未变,则更可能来自变送器扰动或取压管堵塞,应先保持频率并触发检测报告。

(3) 风机电耗随负荷切换的变化过程测算:风机电耗随负荷切换变化时,稳定性和节能性不能分开评价。低负荷待机若长期维持高频运行,主管负压看似充足,却会增加挡板节流损失和电机温升;出铁高峰若过度压低频率,烟尘捕集不足又会迫使系统频繁补偿。表1中低负荷待机目标风量为180000m³/h、主管负压为-1450Pa、运行功率为165kW,出铁高峰目标风量为360000m³/h、主管负压为-2680Pa、运行功率为430kW,功率随负荷加深而提高。电耗测算要识别可降速的稳定区间,并保留负压恢复频率余量。风机轴功率可按式(1)估算。

$$P = \frac{Q\Delta p}{3600\eta} \quad (1)$$

式(1)中,Q和 Δp 分别对应处理风量和风机全压, η 反映叶轮、电机和变频传动的综合效率。频率上调若没有带来有效风量增加,P仍会随压差和效率变化而上升,控制器应把功率核算结果纳入升频限幅。

(4) 控制回路抗扰裕量下限辨识:控制回路抗扰裕量下限来自传感器噪声、电网波动、机械振动和管网阻力突变。稳定改进后,控制系统先判断偏差是否超过噪声带、是否持续超过一个采样周期、是否与阀位和电流变化同向。抗扰裕量下限由负压允许带、电流保护值和最小频率修正步长共同确定;扰动低于下限时保持当前频率并记录趋势,扰动超过下限且持续扩大时进入分段调速,炉前瞬态烟尘、清灰脉冲和取压管短时堵塞由此分开处置。

4 结语

高炉除尘风机变频电气控制系统的稳定改进,核心在于把炉前工况识别、主管负压控制、风机电机传动模型和保护约束合成连续控制链。系统扰动来自阀位、清灰周期、管网阻力、电流温升和机械振动,控制方法要在风量压力联动、变频传动建模和参数整定中同步处理。分段调速改善转速响应,负压判别减少误调,电耗测算识别可降速区间,抗扰裕量辨识让短时噪声和真实负荷变化分开处置。

参考文献:

- [1] 李晓光.基于视频分析的高炉出铁场除尘风机控制[J].冶金自动化,2025,49(S1):56-60.
- [2] 莫祖杰,黄东明,邓蔚军.高炉环境除尘风机振动异常分析[J].冶金设备,2023,(S2):124-126.
- [3] 王军钢.高炉冶炼中除尘风机异常振动的技术研究[J].中国金属通报,2025,(12):150-152.
- [4] 向以成,宗立杏,王锐利.变频器在高炉除尘系统中的应用[J].冶金设备,2026,(3):97-101.
- [5] 张涛.智能化电气控制系统在工业自动化中的应用[J].冶金与材料,2025,45(3):43-45.